

Fiabilité des disjoncteurs à boîtier moulé et à coupure dans l'air

Nouveautés dans le suivi de la fiabilité des disjoncteurs basse tension

Publication/
Détails de la présentation

James Lagree
Ingénieur en chef, Eaton

Robert Griffin
Directeur de produits,
Eaton

L'amélioration des méthodes et systèmes relatifs à la maintenance prédictive des disjoncteurs rehausse remarquablement la fiabilité des réseaux de distribution et réduit les coûts d'exploitation

Table des matières

Description	Page
Pourquoi la fiabilité des disjoncteurs est-elle si importante?	2
Normes de sécurité applicables	3
Norme 1458 de l'IEEE ^{MD}	3
Norme AB-4 de la (NEMA ^{MD})	3
Notions d'entretien des disjoncteurs à boîtier moulé et dernières avancées en maintenance prédictive	4
L'électronique embarquée au service de la surveillance des disjoncteurs et de la fiabilité du réseau de distribution	5
Système de maintenance	5
Moins de ressources pour l'entretien	5
Suivi de la consommation	5
Conformité réglementaire	5
Dépannage facilité	5
Installation de nouveaux appareillages	5
Conclusion	6



Powering Business Worldwide

Introduction

Pourquoi la fiabilité des disjoncteurs est-elle si importante?

Les disjoncteurs à boîtier moulé (MCCB en anglais) et les disjoncteurs basse tension à coupure dans l'air, que nous appellerons simplement "disjoncteurs" ci-après, constituent un élément essentiel au bon fonctionnement des réseaux de distribution électrique à basse tension. Ils assurent la protection des artères et des dérivations en cas de court-circuit ou de surcharge. Omniprésents, ils permettent la connexion et la déconnexion des charges à la source d'électricité. On les retrouve dans tous les secteurs de l'industrie, incluant ceux où la fiabilité est critique.

Par exemple, dans un hôpital, on estime qu'une panne coûte entre 800 000 \$ et 1 million \$ par jour.



Figure 1. Disjoncteurs alimentant des équipements critiques au centre de données Eaton, à Bluegrass au Kentucky.

On retrouve des disjoncteurs dans pratiquement tous les réseaux de distribution, partout sur la planète, où ils ont une tâche essentielle: assurer la protection de l'appareillage et des personnes.

Pour remplir cette mission, il est essentiel que ces disjoncteurs soient en bon état de marche.

Les disjoncteurs dans l'air procurent une grande fiabilité dans tout type d'application lorsqu'ils sont installés selon les directives de leur fabricant et entretenus adéquatement. Toutefois, il est essentiel de mettre en place un programme de maintenance adéquat pour préserver cette fiabilité et maîtriser les coûts associés à d'éventuelles défaillances.

Comme les disjoncteurs sont en général très fiables, comment peut-on faire trouver le petit nombre d'unités devant être remplacé? Récemment, les responsables de la maintenance d'une usine à papier comptant 876 disjoncteurs à boîtier moulé ont effectué une analyse poussée dans le cadre du déploiement d'un important programme de maintenance préventive. De ces 876 disjoncteurs, cinq ont dû être remplacés, soit 0,57% de tous les disjoncteurs. Les bonnes questions sont alors:

- Comment identifier, avec un niveau de confiance raisonnable, les disjoncteurs nécessitant une intervention?
- Comment éviter l'inspection systématique des 876 disjoncteurs pour identifier les disjoncteurs nécessitant un entretien ou un remplacement?
- Comment établir l'état de marche (la santé) d'un disjoncteur?

On retrouve plusieurs types de disjoncteurs sur le marché, mais tous possèdent cinq composantes communes: un bâti (avec ou sans boîtier moulé), un mécanisme de manœuvre et de déclenchement, des extincteurs d'arcs, des pièces porteuses de courant et un relais

de protection. Dans le cas d'un disjoncteur à boîtier moulé, ces éléments sont contenus et scellés à même le bâti. Historiquement, ils reçoivent uniquement de l'attention lors de leur montage et raccordement, et lors de manœuvres. Les disjoncteurs sous boîtier et les disjoncteurs dans l'air, de par leur conception particulière, demandent un entretien plus exhaustif.

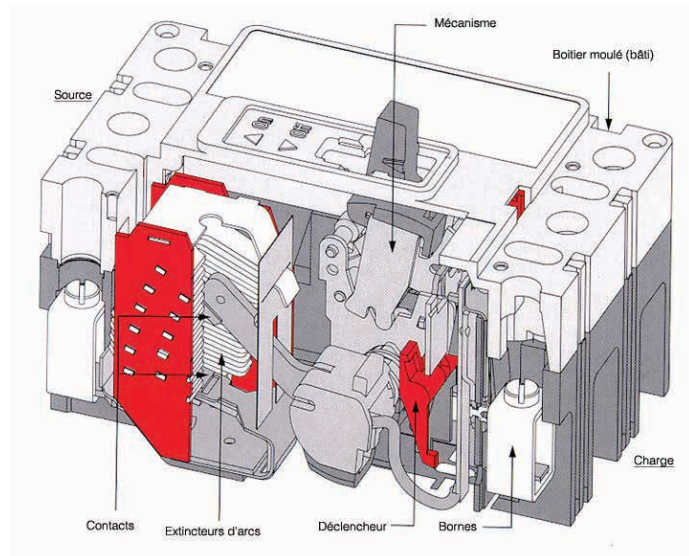
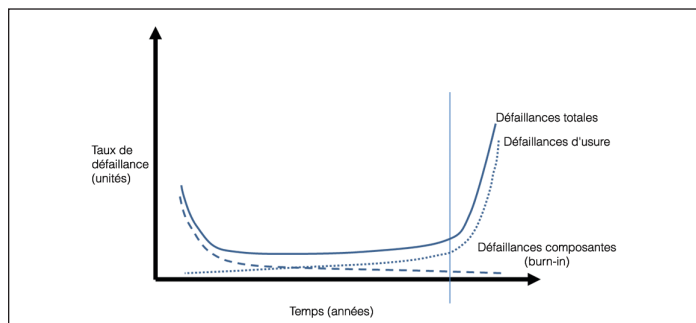


Figure 2. Les cinq composantes d'un disjoncteur à boîtier moulé

Depuis leur invention, les disjoncteurs de tous types ont démontré une excellente fiabilité. Le principal défi de l'entretien des disjoncteurs, et plus particulièrement pour les disjoncteurs à boîtier moulé, a toujours été de déterminer le moment où ils devaient être remplacés. La Figure 3 illustre une courbe de fiabilité typique des disjoncteurs, en forme de "bain". Le principal défi consiste à trouver le point où l'on passera d'un taux de défaillances assez bas (le creux du bain), à un taux des défaillances associé à l'usure des composantes.

Divers facteurs réduisent fortement la durée de vie d'un disjoncteur: température élevée, humidité, poussière, vibrations ou vapeurs chimiques. Ainsi, dans le cas d'un disjoncteur installé depuis longtemps dans un environnement difficile, sans entretien et qui a possiblement subi des surcharges, il devient difficile de prévoir sa capacité à opérer normalement.

Lorsqu'un disjoncteur a déjà interrompu un important courant de défaut (près de sa capacité de rupture nominale), il est typiquement difficile de prévoir si ce disjoncteur pourrait encore se déclencher adéquatement lors d'un autre éventuel défaut. Au fil des déclenchements, les composantes internes d'un disjoncteur s'endommagent,



ce qui compromet son futur rendement.

Figure 3. Courbe de fiabilité typique des disjoncteurs, en "baignoire"

En ayant une meilleure compréhension des conditions environnementales et des problématiques liées aux réseaux de distribution électriques, le personnel de maintenance peut déterminer le meilleur moment pour remplacer un disjoncteur. Heureusement, de récentes innovations ont simplifié l'analyse des effets cumulés de tous ces facteurs.

La thermographie infrarouge (IR) est utilisée depuis plusieurs années pour évaluer l'état des disjoncteurs. Bien que cette technique fournisse des renseignements très utiles, la thermographie peut uniquement être effectuée de manière ponctuelle: elle ne permet pas un suivi en temps réel des performances du disjoncteur, dans toutes ses conditions d'exploitation. De plus, le personnel doit bien maîtriser la technique, sinon elle génère un grand nombre de faux positifs, par exemple: remplacer un disjoncteur alors que le vrai problème est un raccord lâche, voir Figure 4.

De récentes innovations ont permis la mise en marché de nouvelles générations de disjoncteurs, dont des disjoncteurs à boîtier moulé et des disjoncteurs dans l'air, qui sont plus intelligents, connectés et possèdent plus de capteurs internes. Ces innovations permettent leur suivi en temps réel et rendent possible l'implantation d'outils et de méthodes de maintenance prédictive. Les disjoncteurs équipés de relais de protection à fonctions autodiagnostiques mesurent plusieurs variables en temps réel, ce qui permet de mieux prédire le moment où ils doivent être remplacés, avant qu'une panne ne survienne. Cela permet de mieux canaliser le temps et les efforts de l'équipe de maintenance: les techniciens interviennent uniquement sur les disjoncteurs qui en ont besoin plutôt que de systématiquement inspecter tous les disjoncteurs d'une installation, ce qui réduit les coûts de manière importante.

Normes de sécurité applicables

On retrouve un certain nombre de normes et de guides très utiles traitant de l'installation, de l'entretien et des essais propres aux disjoncteurs.

Les disjoncteurs à boîtier moulé et les disjoncteurs dans l'air doivent être approuvés selon la norme canadienne CSA C22.2 no. 5. Cette norme est maintenant harmonisée à la norme américaine ULMD 489 et la norme équivalente mexicaine (ANCE). Parmi les exigences de ces normes, on retrouve de nombreux essais d'endurance où les disjoncteurs doivent être cyclés des milliers de fois, avec une charge représentant 100% de leur courant nominal, sous diverses conditions. Ils doivent aussi pouvoir se déclencher de nombreuses fois en conditions de surcharge. Tous les disjoncteurs doivent respecter ces exigences de calibration, de résistance aux surcharges et à la température, d'endurance, de coupure, de résistance diélectrique, de déclenchement sous courant de défaut élevés, de protection contre la corrosion, d'espacement, de matériaux isolants ou de pièces porteuses de courant. De plus, avec l'avènement des relais de protection électroniques, ils sont aussi soumis à des exigences supplémentaires de compatibilité électromagnétique (EMC) et même logicielle.

La norme 1458 de l'IEEE intitulée "Recommended Practice for the Selection, Field Testing, and Life Expectancy of Molded Case Circuit Breakers for Industrial Applications" fournit des outils pour la sélection, les essais à pied d'oeuvre et l'estimation de la durée de vie des disjoncteurs sous boîtier moulé. La version 2005 de cette norme prescrit une méthodologie précise pour déterminer la fin de vie d'un disjoncteur à boîtier moulé de même que des procédures pour leurs essais à pied d'oeuvre.

La norme NEMA AB-4 propose des lignes directrices pour l'inspection et la maintenance préventive des disjoncteurs dans les installations commerciales et industrielles. On y retrouve aussi de l'information sur l'inspection et des procédures d'essai à pied d'oeuvre des disjoncteurs en service.

NEMA AB-4

Guide de base pour la maintenance et les essais, notamment:

- Vérification des raccords aux cosses
- Procédure de nettoyage: poussière, saleté, graisse, suie et humidité
- Manoeuvre du disjoncteur hors tension pour la vérification des raccords mécaniques
- Si possible, ouvrir le disjoncteur en charge pour en nettoyer les contacts des résidus et de l'oxydation
- Vérifier le boîtier pour relever d'éventuelles fissures ou une décoloration



Figure 4. La thermographie infrarouge fournit des informations utiles sur l'état d'un disjoncteur.

Bref, lors de l'inspection d'un disjoncteur, il faut tenir compte de plusieurs paramètres pour déterminer ceux devant être remplacés. Par exemple, l'usure des contacts est souvent citée comme référence pour déterminer l'état d'un disjoncteur, mais il ne s'agit que d'un facteur parmi d'autres. Certains manufacturiers équipent leurs disjoncteurs d'une alarme qui se déclenche lorsque l'usure des contacts atteint un certain seuil, comme approximation de leur état. Si l'usure des contacts était la seule cause pour laquelle on doit remplacer un disjoncteur, ou même la principale cause, cette solution serait appropriée. Cependant, un disjoncteur contient des centaines de pièces, chacune ayant son importance. Il existe une panoplie de facteurs, bien au-delà de l'usure des contacts, qui doivent être analysés pour obtenir un diagnostic complet et adéquat de l'état d'un disjoncteur.

Notions d'entretien des disjoncteurs à boîtier moulé et dernières avancées en maintenance prédictive



Figure 5. Disjoncteur Eaton PXR 20D et 25

Les disjoncteurs sont non seulement conçus et fabriqués conformément aux sévères exigences des normes nord-américaines, mais aussi en fonction de plusieurs autres normes mondiales, afin d'offrir un produit standard et ultra fiable à long terme. Chacun de ces disjoncteurs subit des essais rigoureux en usine afin d'assurer sa qualité et l'uniformité de son rendement. Les normes NEMA AB-4 et IEEE 1458 contiennent des instructions détaillées sur la mise à l'essai de disjoncteurs à pied d'oeuvre, même s'ils sont scellés.

Les nouveaux relais de protection Power XpertMD Release (PXR) d'Eaton représentent une avancée majeure par rapport aux procédures d'inspection traditionnelles, car ils recueillent une impressionnante quantité d'information, ce qui permet d'effectuer des analyses de maintenance prédictive des disjoncteurs qui en sont équipés. Ces données permettent d'établir l'état réel d'un disjoncteur, et donc de prendre une décision éclairée à son sujet. Ces disjoncteurs intelligents sont équipés d'un écran qui indique clairement leur état, peu importe le niveau technique de la personne qui le vérifie.

Voici un aperçu des principaux paramètres surveillés par le relais PXR d'Eaton: courts-circuits, surcharges, manoeuvres, température et temps d'utilisation. Ces données sont en elles-mêmes précieuses, mais leur nombre permet d'avoir une vue d'ensemble de l'état du disjoncteur. Ces données peuvent être compilées à des fins de maintenance prédictive ou être utilisées avec un système encore plus évolué de suivi de la fiabilité de réseau. Exemples d'analyses possibles:

- Ces données permettent par exemple de connaître le moment de la dernière manoeuvre du disjoncteur et si le mécanisme fonctionnait avec fluidité.
- Le nombre de manoeuvres permet d'estimer l'usure du mécanisme et des contacts.
- Le nombre de déclenchements et l'énergie du déclenchement sont des éléments fondamentaux pour estimer l'usure des contacts et l'état des cheminées coupe-arc.
- Les déclenchements en surcharge affectent moins l'état du disjoncteur que les courts-circuits, mais leur incidence est pondérée dans le calcul de l'état du disjoncteur.
- Les courts-circuits peuvent endommager les contacts, le boîtier et la rigidité diélectrique du disjoncteur. L'amplitude du courant de court-circuit est comparée à la capacité de rupture du disjoncteur et pondérée par un autre facteur dans le calcul de l'état du disjoncteur.
- Le temps en service et la durée de conduction du courant sont aussi considérés.
- La température maximale subie est une autre importantes mesures pour évaluer l'état d'un disjoncteur: celle-ci est aussi conservée et utilisée dans l'analyse.

Ces éléments sont tous sauvegardés dans la mémoire non volatile du relais PXR. On peut consulter ces données localement sur l'écran du disjoncteur ou à distance, par un système de communication qui permet le téléchargement des données et leur compilation sur un ordinateur. Certains modèles de relais PXR procurent un accès local plus complet aux données, notamment par l'entremise d'un écran ACL pouvant tracer des graphiques, ce qui permet aux opérateurs et au personnel d'entretien de directement vérifier si un disjoncteur doit être remplacé.



L'électronique embarquée au service de la surveillance des disjoncteurs et de la fiabilité du réseau de distribution

La fonction première des disjoncteurs évolue: ils font désormais beaucoup plus que de simplement protéger l'équipement et les personnes: ils constituent désormais une composante intelligente d'un système complet en offrant des fonctionnalités de maintenance prédictive. Les nouveaux relais de protection sont à la fois intelligents et connectés, ce qui permet de suivre l'évolution de leur état, de cumuler des données, de communiquer avec un système de gestion du bâtiment (BMS), un réseau informatique ou même un service infonuagique.

Les données recueillies par chaque disjoncteur sont bien entendu utiles pour suivre leur état et leur consommation énergétique, mais cette information peut aussi être analysée dans l'optique d'optimiser l'utilisation du réseau de distribution électrique et de diminuer ses coûts d'exploitation et d'entretien.

La capacité de surveillance de chacun des disjoncteurs peut être combinée avec des capteurs qui fournissent des informations supplémentaires sur leur état. Ainsi, la plus récente génération de relais de protection peut suivre l'usure mécanique, les courants de défaut, la température ambiante, le temps d'opération et compiler en temps réel toutes les données qui permettent d'offrir un portrait complet de chaque disjoncteur. Évidemment, un tel niveau de sophistication permet de les raccorder en réseau, ce qui permet une compilation centrale de données et l'obtention d'un portrait global du réseau, encore une fois en temps réel.

Les gestionnaires immobiliers ont maintenant accès à un portrait beaucoup plus détaillé et complet de l'état de chaque disjoncteur,

mais aussi du réseau dans son ensemble. Cela améliore de manière importante la sécurité et l'efficacité du système, diminue les coûts d'exploitation et améliore la fiabilité globale du réseau de distribution électrique. Toutes ces données cumulées par le disjoncteur ont les effets suivants:

- Système de maintenance - Transition d'un système de maintenance corrective vers un système de maintenance prédictive: permet de gérer les problèmes avant qu'ils ne surviennent. On peut planifier une intervention sans affecter les charges critiques.
- Moins de ressources d'entretien – La capacité de cumul et d'analyse en temps réel des données permet au personnel d'entretien de planifier ses interventions seulement lorsqu'elles sont requises, ce qui contribue à réduire les coûts d'exploitation et libère ces ressources pour d'autres activités.
- Suivi de la consommation – Les données détaillées de consommation énergétique permettent de découvrir des gaspillages souvent surprenants.
- Conformité documentée – La disponibilité de données en temps réel facilite énormément la documentation de la conformité réglementaire.
- Dépannage facilité – Les données alimentent un système diagnostique intuitif et complet permettant au personnel de trouver rapidement l'origine d'une panne et de restaurer le service d'autant plus rapidement.
- Ajout de nouveaux équipements – Demande généralement la réalisation d'études complètes de capacité et de compatibilité. Les données générées par le système réduisent à presque zéro le temps consacré à la collecte d'information pour l'analyse d'ingénierie.

Conclusion

On s'attend des disjoncteurs qu'ils alimentent leurs charges, équipements et procédés de manière fiable et sécuritaire. Leur bon fonctionnement est critique. Par exemple, dans un centre de données, la coupure d'alimentation d'une charge critique moins d'un pour cent du temps induit un impact financier énorme. Les coûts des pannes dans les centres de données sont bien documentés: on parle aujourd'hui d'environ 9000 \$ par minute, soit 540 000 \$ l'heure. L'appareillage doit être fiable, sécuritaire et facile à entretenir. Les dernières avancées technologiques offrent de puissants outils de maintenance prédictive. Avec ce nouvel accès à des données générées en temps réel, les organisations sont en mesure de réduire le nombre et la durée des pannes. Cela permet de réduire les coûts et les efforts requis pour déterminer lesquels des équipements doivent être entretenus ou remplacés, en plus d'augmenter substantiellement la fiabilité et la disponibilité totale du réseau de distribution électrique.

Les nouveaux outils de maintenance prédictive incorporés aux relais de protection PXR permettent d'automatiquement identifier des défaillances potentielles et de les corriger lors d'une intervention planifiée, plutôt que d'attendre une panne qui mettra en péril les opérations et la mission de l'établissement. On retrouve sur le marché des produits concurrents qui suivent uniquement l'usure des contacts. Il est aussi possible d'éviter d'autres problèmes

en effectuant ponctuellement des analyses thermographiques. Toutefois, l'analyse des données en temps réel combinée à des procédures de maintenance adaptées reste le meilleur moyen de maximiser la disponibilité du réseau de distribution électrique. Même si le système élimine des incidents sur un très petit nombre de disjoncteurs en service, le retour sur l'investissement demeure très rapide au vu du coût astronomique de ces pannes. Avec la possibilité d'aviser le personnel d'une panne avant qu'elle ne survienne, les activités de maintenance sont plus dynamiques, efficaces et proactives.

Un savoir issu de décennies d'expérience en conception, d'essais et d'innombrables diagnostics à pied d'oeuvre est intégré aux algorithmes de diagnostic de nos disjoncteurs. Ces algorithmes produisent des indicateurs simples et complets, non seulement de l'état de chaque disjoncteur, mais donnent aussi des indices sur l'état du réseau. L'exploitation judicieuse de toutes les données fournies par les disjoncteurs communicants du réseau permet d'obtenir d'importants bénéfices, jadis inimaginables. Les données peuvent être communiquées automatiquement et compilées par un système central qui est souvent déjà en place (BMS, SCADA ou autres). Ainsi, le flux de données produit en temps réel par chaque disjoncteur d'une installation électrique peut être intégré à un système automatisé de gestion du bâtiment ou de la maintenance et contribuer à augmenter la disponibilité et la fiabilité du réseau, tout en réduisant les coûts de maintenance.

À propos de Eaton

Eaton propose une vaste sélection d'innovantes et fiables solutions d'éclairage intérieur et extérieur, ainsi que les produits de contrôle associés permettant de maximiser le rendement, l'efficacité énergétique et les coûts d'utilisation. Les solutions d'éclairage de Eaton sont utilisées par nos clients des secteurs commercial, industriel, institutionnel, résidentiel, des services publics et autres.

La division électrique de Eaton est un chef de file mondial dans les domaines de la distribution électrique, de la protection des circuits et des alimentations de secours; du contrôle et de l'automatisation; de l'éclairage et de la sécurité; des solutions de câblage structuré; de solutions pour les environnements difficiles et dangereux et enfin, de services d'ingénierie.

Eaton est mieux positionnée que jamais pour relever les défis critiques de gestion d'alimentation électrique à l'échelle mondiale.

Eaton est une entreprise spécialisée dans la gestion de l'énergie ayant enregistré des ventes de 20,4 milliards de dollars en 2017. Nous offrons des solutions d'efficacité énergétique pour les systèmes électriques, hydrauliques et mécaniques, tout en insistant sur la sécurité et le développement durable. Eaton est pleinement engagé à améliorer la qualité de vie et l'environnement grâce à ses produits et services de gestion efficace de l'énergie. Eaton compte environ 96 000 employés et vend ses produits dans plus de 175 pays. Pour plus de renseignements, visitez le www.eaton.com.

Références

- [1] David B. Durocher (Eaton), Mark Higginson (North Pacific Paper Corporation, "Proper Application and Maintenance of Molded Case Breakers to Assure Safe and Reliable Operation," IEEE 2009 Paper.
- [2] "Recommended Practice for the Selection, Field Testing, and Life Expectancy of Molded Case Circuit Breakers for Industrial Applications," IEEE 1458.
- [3] Molded-Case Circuit Breakers, Molded-Case Switches, and Circuit Breaker Enclosures," UL 489.
- [4] Guidelines for Inspection and Preventative Maintenance of Molded-Case Circuit Breakers used in Commercial and Industrial Applications," NEMA AB-4.
- [5] "How DCIM Aligns CIOs, IT, and Facilities Teams on the Same Path," September 2017, Data Center Frontier website. <https://data-centerfrontier.com/how-intel-dcm-aligns-cios-it-facilities-teams/>

Auteurs

James Lagree détient un baccalauréat en science du Rochester Institute of Technology et une maîtrise en science en génie électrique de la University of Pittsburgh. Il a entrepris sa carrière chez Westinghouse Electric Corporation à titre d'ingénieur de conception au sein des divisions de R&D et des Composantes électriques. Il oeuvre chez Eaton depuis 1994 et occupe présentement le poste d'ingénieur en chef de la division Composantes d'alimentation électrique. M. Lagree est membre de la IEEE depuis 38 ans et il adhère aussi aux organisations suivantes: IAS, PES, IE et Engineering Management Society. Il a présidé le chapitre IEEE de Pittsburgh en 2016. Il est inscrit à titre d'inventeur dans 27 brevets.

Rob Griffin détient un baccalauréat en science de la Bucknell University et un M.B.A. de la Carnegie Mellon University. Il oeuvre chez Eaton depuis 2003, occupant diverses fonctions de leader allant de la gestion de la production, de la chaîne d'approvisionnement ou du marketing. Il est aujourd'hui directeur mondial des gammes de disjoncteurs à coupure dans l'air et à boîtier moulé de la division Composantes d'alimentation électrique.

Pour plus de renseignements
EatonCanada.ca/PowerDefense
ou communiquez avec votre bureau local des
ventes Eaton.

Eaton
1000 Eaton Boulevard
Cleveland, OH 44122
États-Unis
Eaton.com

© 2018 Eaton
Tous droits réservés
Imprimé au Canada
Publication n°. WP012015FC / VCG
Juillet 2018

Secteur électrique
Exploitation canadienne
5050 Mainway
Burlington, ON L7L 5Z1
Canada
EatonCanada.ca

Eaton est une marque de commerce déposée.

Toutes les autres marques de commerce sont
la propriété de leur détenteur respectif.

Suivez-nous sur les réseaux sociaux pour de
l'information sur les plus récents produits et le
soutien technique.

